PolyPublie
Polytechnique Montréal

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
UNIVERSITÉ D'INGÉNIERIE

Titre: Title:	Entreposage en atelier automatisé flexible : cahier des charges pour les sous-traitants en usinage
Auteurs: Authors:	Pierre Bourdet, Jean-Jacques Lesage, Diane Riopel, & Laurent Villeneuve
Date:	1986
Type:	Rapport / Report
Référence: Citation:	Bourdet, P., Lesage, J.-J., Riopel, D., & Villeneuve, L. (1986). Entreposage en atelier automatisé flexible : cahier des charges pour les sous-traitants en usinage (Rapport technique n° EPM-RT-86-54). https://publications.polymtl.ca/9639/

Document en libre accès dans PolyPublie
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: PolyPublie URL:	https://publications.polymtl.ca/9639/
Version:	Version officielle de l'éditeur / Published version
Conditions d'utilisation: Terms of Use:	Tous droits réservés / All rights reserved

Document publié chez l'éditeur officiel
Document issued by the official publisher

Institution:	École Polytechnique de Montréal
Numéro de rapport: Report number:	EPM-RT-86-54
URL officiel: Official URL:	
Mention légale: Legal notice:	

Ce fichier a été téléchargé à partir de PolyPublie, le dépôt institutionnel de Polytechnique Montréal
This file has been downloaded from PolyPublie, the institutional repository of Polytechnique Montréal

https://publications.polymtl.ca

25 FEV. 1987

ENTREPOSAGE EN ATELIER AUTOMATISÉ FLEXIBLE:
Cahier des charges pour les sous-traitants en usinage

Par:

PIERRE BOURDET
JEAN-JACQUES LESAGE
DIANE RIOPEL
LAURENT VILLENEUVE

EPM/RT-86/54

(1986)

EPM/RT-86/54

ENTREPOSAGE EN ATELIER AUTOMATISÉ FLEXIBLE: Cahier des charges pour les sous-traitants en usinage

PAR:

PIERRE BOURDET
Maître de conférence
Laboratoire Universitaire de Recherche
en production automatisée
École Normale Supérieure de Cachan

JEAN-JACQUES LESAGE
Agrégé préparateur
Laboratoire Universitaire de Recherche
en production automatisée
École Normale Supérieure de Cachan

DIANE RIOPEL, ing., M.Sc.A., D.E.A.
Associée de recherche
Département de génie industriel
École Polytechnique de Montréal

LAURENT VILLENEUVE, ing., M.Ing.
Professeur titulaire
Département de génie industriel
École Polytechnique de Montréal

1986

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à exprimer leurs remerciements à Messieurs M. Bosom et B. Froment pour nous avoir fait partager l'expérience acquise lors de l'élaboration de l'entrepot automatique du Laboratoire Universitaire de Recherche en Production Automatisée (L.U.R.P.A.) de l'École Normale Supérieure de Cachan.

Tous droits réservés. On ne peut reproduire ni diffuser aucune partie du présent ouvrage, sous quelque forme que ce soit, sans avoir obtenu au préalable l'autorisation écrite des auteurs.

Dépôt légal, 3e trimestre 1986
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

Pour se procurer une copie de ce document, s'adresser aux:

Éditions de l'École Polytechnique de Montréal
École Polytechnique de Montréal
Case Postale 6079, Succursale A
Montréal (Québec) H3C 3A7
(514) 340-4000

Compter 0,10 $ par page (arrondir au dollar le plus près) et ajouter 3,00 $ (Canada) pour la couverture, les frais de poste et la manutention. Régler en dollars canadiens par chèque ou mandat-poste au nom de l'École Polytechnique de Montréal. Nous n'honorerons que les commandes accompagnées d'un paiement, sauf s'il y a eu entente préalable dans le cas d'établissements d'enseignement, de sociétés ou d'organismes canadiens.

AVANT-PROPOS

Le département de génie industriel de l'École Polytechnique de Montréal (EPM) et le Laboratoire Universitaire de Recherche en Production Automatisée de l'École Normale Supérieure (E.N.S.) de Cachan ont décidé le 20 mars 1984 d'associer leurs compétences en vue de contribuer au développement de l'enseignement et de la recherche appliquée dans les domaines de la productique.

Le département de génie industriel de l'EPM a une compétence dans la conception, l'installation, l'amélioration et la gestion de systèmes de production de biens et de services; de plus les travaux de recherche entrepris depuis 3 ans permettent de concevoir différents postes de travail à échelle réduite qui simulent les parties constituantes d'un atelier flexible. Le LURPA de l'ENS de Cachan developpe les recherches nécesssaires à la réalisation d'un atelier de mécanique générale automatisé, piloté en temps réel, capable de produire une grande diversité de pièces (atelier flexible) avec détermination automatique du processus de fabrication (gamme automatique). La complémentarité des deux équipes aussi bien sur le plan technique que culturel a favorisé de nombreuses activités communes.

Les travaux concrétisés dans ce rapport s'inscrivent dans l'objectif d'acquérir toute la connaissance nécessaire à la conception d'atelier automatisé flexible adapté aux besoins des entreprises de sous-traitance.

TABLE DES MATIÈRES

Page

REMERCIEMENTS iii

AVANT-PROPOS iv

TABLE DES MATIÈRES v

INTRODUCTION 1

CHAPITRE 1: Préliminaires de conception 2

1.1 Introduction 3

1.2 Les rôles d'un entrepôt 3

1.3 La rentabilité 4

1.4 L'entrepôt étudié 5

1.5 Conclusion 6

CHAPITRE 2: Paramétrage d'un cahier des charges pour entrepôt automatisé à transtockeur 7

2.1 Introduction 8

2.2 Etude de la partie opérative 10
2.2.1 Partie opérative statique 10
2.2.1.1 Casiers 10
2.2.1.2 Aménagement 12
2.2.1.3 Sécurités 13
2.2.2 Partie opérative dynamique 13
2.2.2.1 Définition 13
2.2.2.2 Ossature 14
2.2.2.3 Mécanismes 16
2.2.2.4. Sécurités 18

2.3 Etude de la partie commande 20
2.3.1 Commande du processus 20
2.3.1.1 Définition 20
2.3.1.2 Architectures de la partie commande 20

TABLE DES MATIÈRES

Page

2.3.2 Conduite des automatismes 22
2.3.2.1 Définition 22
2.3.2.2 Modes de marches et d'arrets 22

2.4 Gestion de l'entrepot 23
2.4.1 Méthodes de localisation des produits 23
2.4.2 Codification 24
2.4.2.1 Méthodes 24
2.4.2.2 Technologies 27
2.4.3 Interfaçages avec le système de gestion de l'atelier . . . 28

2.5 Spécifications contractuelles 28

2.6 Conclusion 29

CONCLUSION 30

BIBLIOGRAPHIE 31

INTRODUCTION

Le présent rapport s'inscrit dans le contexte de la conception d'un atelier automatisé flexible (A.A.F.) dédié à la sous-traitance d'usinage en mécanique générale. C'est le service entreposage qui est étudié ici.

Contrairement aux cellules flexibles de production dont la tâche n'est que d'assurer une production donnée dans un atelier où lui sont fournies les fonctions de service, l'A.A.F. est un ensemble d'unités de production qui doit assurer ses interfaçages avec le plancher productif. L'entreposage joue dans ce contexte un rôle prépondérant.

La mise en commun des expériences des auteurs en conception et réalisation d'entrepots traditionnels et automatisés dans plusieurs secteurs industriels (agro-alimentaire, buanderie, distribution, meuble, papier, plastique, usinage) a permis de dégager les éléments particuliers à l'analyse des besoins en stockage d'A.A.F.

Il est donc proposé dans un premier temps de réfléchir sur les services que cet entrepôt aura à rendre et dans un deuxième temps de définir les différents paramètres à inclure au cahier des charges. Une méthode de quantification est également suggérée.

CHAPITRE 1

Préliminaires de conception

1.1 INTRODUCTION

Dans toutes les entreprises où l'entrepôt automatisé peut se justifier, sa réalisation technique ne soulève pas de problèmes majeurs. En effet, il s'agit d'automatiser des déplacements élémentaires utilisant peu de capacités sensorielles. Toute la difficulté à concevoir une installation performante réside dans l'analyse logistique permettant de définir les services à rendre par l'entrepôt.

1.2 LES RÔLES D'UN ENTREPÔT [1] [2]

La fonction de l'activité entreposage est de garder, protéger et préserver la marchandise jusqu'à ce qu'elle soit demandée.

L'entreposage n'apporte aucune valeur aux produits mais existe pour tenir compte d'une réalité qui est l'incapacité de produire et de répondre aux commandes des clients sans délai. Il existe un défaut de synchronisation entre les unités du plancher de production et les réceptions des matières premières - expéditions de produits finis ce qui entraine des retards entre les entrées et les sorties des produits.

Les activités classiques de tout entrepôt ou magasin sont de:

1. réceptionner les matières premières et les fournitures pour les fins de production;
2. identifier et trier les différents stocks afin de les acheminer au moment voulu à la production;
3. attribuer aux produits leur place dans l'entrepôt;
4. acheminer les produits aux emplacements attribués;
5. entreposer (garder) pour un temps plus ou moins long selon des conditions appropriées;
6. sortir de leur place d'entreposage des produits;
7. expédier les produits vers leurs clients respectifs (internes ou externes);
8. tenir à jour les fichiers des données de tous les renseignements qui pourraient éventuellement être utiles.

Il est important de spécifier que ces activités sont propres à l'entreposage mais qu'il existe bien sur d'autres activités qui peuvent être exécutées à l'intérieur de l'entrepôt. Certains types d'inspection, contrôle de la qualité, emballage et préparation des produits sont parfois exécutés dans l'entrepôt même.

1.3 LA RENTABILITÉ

L'entreposage n'étant pas une activité où les produits se voient transformés c'est-à-dire pas d'addition de valeur ajoutée directe, il n'est pas possible de parler de la rentabilité de ce service. Il convient plutôt de s'exprimer en termes d'objectifs à atteindre pour optimiser les services à rendre tout en minimisant les coûts inhérents.

Les coûts à considérer sont les coûts de construction et les coûts de manipulation [3]. L'implantation doit permettre la minimisation des coûts sous contraintes des disponibilités financières à court et à moyen terme.

Cette minimisation sera satisfaite si l'on sait maximiser l'utilisation des ressources physiques qui seront retenues lors de la réalisation. Ces ressources sont l'espace, les équipements et la main-d'oeuvre. Elles seront prises en compte dès la planification de l'entrepôt à l'aide de ces cinq fonctions [1]:

1- maximiser l'utilisation de l'espace;
2- maximiser l'utilisation des équipements;
3- maximiser l'utilisation de la main-d'oeuvre;
4- maximiser l'accessibilité à tous les produits;
5- maximiser la protection de tous les produits.

Ces critères d'optimisation sont bien sûr antagonistes, et la démarche généralement retenue consiste à définir des seuils d'acceptation. Une certaine part de subjectivité est inévitable lors de la prise de décision finale surtout pour évaluer les paramètres non quantitatifs. Il est alors suggéré d'avoir recours à des méthodes de comparaison où les facteurs sont pondérés [4].

1.4 L'ENTREPÔT ETUDIÉ

Le présent rapport veut assister le sous-traitant en usinage de mécanique générale à rédiger le cahier des charges d'un entrepôt qui s'intègre parfaitement à son atelier automatisé flexible. Il a été conçu de manière à traiter du cas particulier de l'automatisation globale mais il est adaptable dans le cas où l'on désire uniquement automatiser l'activité entreposage ou encore dans le cadre d'un programme d'automatisation d'un atelier à plus long terme.

Ce type d'entreprise, généralement des PME, se caractérise entre autres par:

- un volume de production faible;
- une capacité d'investissement peu importante;
- peu de personnel et peu de haute qualification professionnelle;

Cependant, les équipements et principes traités dans ce présent rapport leur sont destinés et seront performants s'ils sont implantés de manière rationnelle.

L'entrepôt automatique est plus facilement justifiable si le nombre de palettes à entreposer est relativement important. C'est pourquoi il est interessant pour une usine de sous-traitance de regrouper le plus possible les opérations où l'entreposage est requis. L'entrepôt peut alors servir pour les fonctions de:

- réception et expédition de toutes les entrées-sorties nécessaires à l'atelier (bruts, matières premières, outils, fournitures, rejets, rebuts, etc ...);

- entreposage des matières premières (pièces en vrac, pièces orientées, lubrifiants, etc...);

- entreposage des produits en cours;

- entreposage des produits finis;

- entreposage des outils d'usinage;

- entreposage des outillages (mors, mandrins, palettes de montages d'usinage et de mesure, etc...);

- régulation des unités du plancher productif;

- contrôle de l'avancement des travaux.

La solution technologique retenue et développée ici est le cas d'entrepôt à allées et casiers avec transtockeur piloté par un système de commande informatisé.

1.5 CONCLUSION

Ce chapitre a été rédigé pour rappeler que la conception d'un E.A. ne doit se mener qu'après une analyse détaillée et complète de tous les services qu'il aura à rendre, le dimensionnement de l'installation sera alors en parfaite adéquation avec les attentes de l'atelier automatisé.

Comme dans tout travail de conception, la phase préliminaire consistant à cumuler les données technologiques est délicate. Le chapitre qui suit, est postérieur à cette phase qui peut être menée en s'inspirant de questionnaires établis à cet effet tel celui de K.M. Bafna [5].

L'E.A. en atelier de sous-traitance rend des services dont il faut partager la ressource entre les différents équipements de production. Cette particularité rend encore plus difficile, et donc nécessaire, l'établissement d'un cahier des charges par le futur utilisateur qui lui seul possède une vue suffisamment globale de sa production.

CHAPITRE 2

Paramétrage d'un cahier des charges pour entrepôt automatisé à transtockeur

2.1 INTRODUCTION

L'entrepôt automatique (E.A.) est un composant essentiel de la productique qui en renferme le caractère pluridisciplinaire. Sa conception, son installation et son exploitation requièrent des compétences en mécanique, électronique, automatique, gestion, informatique, etc... Il semble donc que la manière la plus simple d'aborder le paramétrage d'un cahier des charges soit de procéder selon une analyse système [6].

En vertu de cette approche, un E.A. est, comme tout processus discontinu automatisé, constitué d'une partie opérative et d'une partie commande qui coopèrent et dont la structure fonctionnelle est donnée à la figure 1.

La partie opérative statique (casiers) est distinguée de la partie opérative dynamique (transtockeur). La partie commande est décomposée en trois niveaux fonctionnels: la commande du processus, la conduite des automatismes et la gestion de l'entrepôt.

Dans ce chapitre, il est abordé successivement les différentes parties mises en évidence par cette analyse système, en accordant une place importante à la gestion de l'entrepôt et à la codification des produits, fondamentales en A.A.F. de sous-traitance.

La conception mécanique de l'E.A. tant dans sa partie opérative que dans sa partie commande n'est pas un travail qui incombe au rédacteur du cahier des charges, mais au fournisseur de l'installation. Cependant, seul le futur utilisateur de l'entrepôt est capable de traduire ses besoins en données indispensables aux fournisseurs potentiels. Ce chapitre doit permettre au rédacteur du cahier des charges de connaître les paramètres d'influence et les méthodologies à suivre lors de leur dimensionnement.

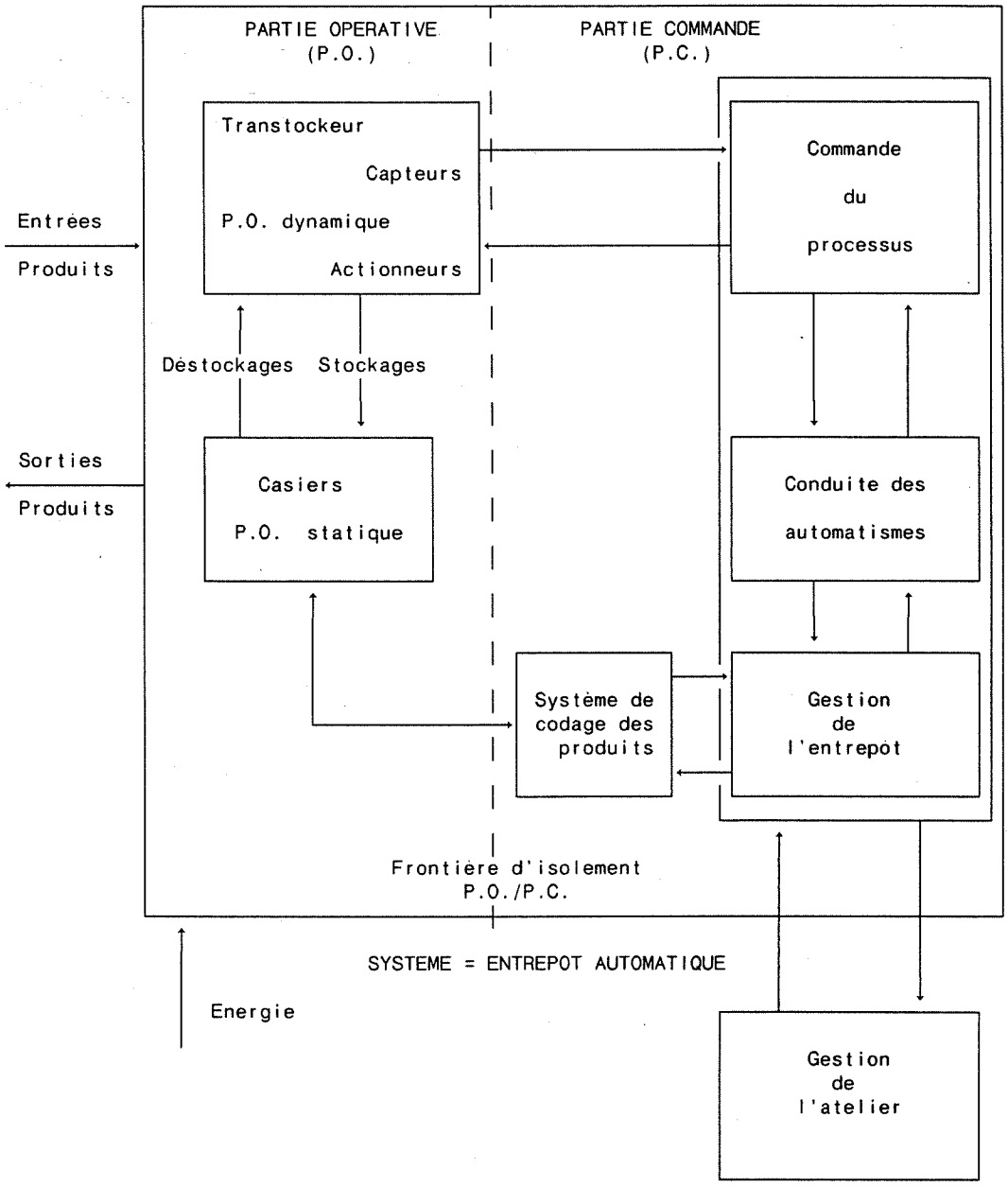


Figure 1 Structure fonctionnelle d'un entrepôt automatique.

2.2 ÉTUDE DE LA PARTIE OPÉRATIVE

2.2.1 Partie opérative statique

2.2.1.1 Casiers

Les principales caractéristiques à fournir sont:
- le nombre;
- les dimensions;
- les caractéristiques des supports de charge;
- la charge maximale admissible.

Le futur utilisateur a auparavant à procéder à une analyse en quatre temps:

1. Faire l'inventaire complet de tout ce que l'entrepôt aura à entreposer et à gérer de façon automatique.

2. Classifier ces produits (sens large) selon leurs caractéristiques physiques, tels que la forme, les dimensions, leurs poids, leurs degrés de fragilité, les conditions climatiques, températures, poussières, etc.

3. Déterminer les grandes catégories d'après des caractéristiques influentes.

4. Identifier l'unité de transport, c'est-à-dire les contenants dans lesquels seront placés les produits. Ces plateaux auront intérêt à être uniformes au vue du système de manutention de l'A.A.F., au vue du transtockeur et des casiers mais ils peuvent être spécifiques au vue des produits.

***Nombre**

Cette caractéristique est établie à l'aide d'un carnet de commandes-types. Le sous-traitant analyse ses données historiques pour en dégager un ensemble de commandes représentatif des ordres qu'il reçoit. Le nombre de casiers doit satisfaire les besoins d'une certaine période de temps donnée qui tient compte des temps de production, des goulots d'étranglement, des réceptions des fournisseurs et des expéditions vers les clients, des pannes des unités de production, du mode de gestion pour la répartition des tâches dans l'atelier, etc. Cette quantité doit être majorée d'un coefficient de sécurité qui peut varier, entre 15 et 70% [7] pour tenir compte des imprévus et des imprécisions de calcul. Il ne faut qu'en aucun temps que l'E.A. soit un goulot d'étranglement d'un A.A.F.

*Dimensions

Les dimensions de longueur et de largeur sont fixées par les plateaux de transport standardisés. Il s'agit maintenant d'en fixer la hauteur. C'est l'examen des caractéristiques dimensionnelles des produits qui permet d'établir la hauteur maximale à satisfaire. Il ne faut pas oublier de tenir compte des cotes et tolérances de dégagement. La réception des bruts et l'expédition des produits finis peuvent se faire aussi dans des caisses. Il n'est évidemment pas nécessaire que tous les casiers aient les mêmes dimensions mais c'est plus pénalisant pour le modèle de localisation des produits de l'E.A. . Il faut rechercher un compromis entre les espaces requis, l'immobilisation du capital et la qualité du service à offrir.

*Caractéristiques des supports de charge

Les supports de charge doivent permettre une accessibilité facile aux produits pour le transtockeur mais aussi permettre des mouvements sécuritaires.

Dans le cas de système automatique, le repérage et le centrage de la charge sont des opérations délicates et essentielles pour que tous les mouvements soient securitaires. Ces opérations peuvent être faites par les cornières des casiers. Il faut alors en préciser la géométrie.

*Charge maximale admissible

La détermination se fait par l'addition des masses des composants contenus dans un plateau de transport et de la masse de ce dernier. Il faut envisager le cas de figure le plus lourd.

Il est toujours possible d'envisager d'imposer des casiers avec des tranches de masses maximales différentes. Mais comme dans le cas des dimensions, le coefficient de sécurité devrait être majorée et une attention spéciale portée au modèle de localisation des produits qui s'en trouvera compliqué.

Dans le cas d'une entreprise d'usinage, c'est souvent le transport des montages d'usinage qui comporte les charges les plus importantes. La charge est alors constituée d'un plateau de transport, de la palette d'usinage nantie des éléments nécessaires au positionnement et au bridage des pièces. Le plus souvent les montages sont transportés avec la pièce bridée [8]. Cette charge doit être comparée à celle de la réception des produits en vrac et celle de l'expédition des produits finis.

2.2.1.2 Aménagement

***Implantation**

L'implantation d'un entrepot consiste à établir la longueur et le nombre des allées, le nombre de casiers qui sont superposés. La principale contrainte est la forme de l'espace disponible pour loger le nombre de casiers déterminé plus haut. Si l'espace n'est pas une contrainte, il s'agit de trouver le compromis entre le nombre d'allées, la hauteur de l'entrepot et la longueur des allées.

Si le nombre d'allées est supérieur à 1 deux choix s'imposent soit plusieurs transtockeurs, soit un dispositif de transfert de transtockeur pour permettre au seul transtockeur de desservir toutes les allées. Plus il y a de transtockeurs plus les coûts sont multipliés et le recours à un dispositif de transfert implique une baisse de productivité, une baisse de la qualité du service rendu si l'E.A. est très sollicité (cas fréquents d'entreprises de sous-traitance).

***Postes d'entrées/sorties**

Les postes d'entrées/sorties des items à garder par l.E.A. sont les éléments de liaison avec les autres constituants de l'A.A.F. qui sont soit automatiques comme un système de manutention par chariots automoteurs sans conducteur, soit manuels comme les postes de travail non automatisés.

Pour le cahier des charges, il faut en préciser le nombre et leurs localisations. S'ils sont à la charge du fournisseur de l.E.A., il faut en plus spécifier les tolérances de différences de hauteurs pour les systèmes extérieur à l'E.A., les exigences de planéité et de parallélisme du sol dans leur environ.

***Rayonnages**

Il faut vérifier s'il est possible d'appuyer les rayonnages sur les murs ou sur une structure quelconque de l'atelier. Dans le cas négatif, la structure métallique constituant l'ensemble des rayonnages doit être auto-porteuse ce qui impose des contraintes de résistance.

***Accès du personnel**

Il ne faut pas non plus oublier d'inclure la localisation et le nombre d'accès désiré pour le personnel d'exploitation (en cas de panne) et de maintenance.

2.2.1.3 Sécurités

Les sécurités qui doivent être implantées visent à se prémunir de tous les aléas de fonctionnement pour assurer la "sécurité" du personnel, des biens et des interfaces de l'entrepôt avec le reste de l'A.A.F. .

***Sécurités pour le personnel**

Il faut éviter tout choc accidentel du personnel avec les parties dynamiques du système. Les précautions classiques à prendre sont:

- l'installation de capteurs aux portes d'accès du personnel;
- l'utilisation d'un sas de sécurité aux entrées/sorties;
- l'interdiction de la présence du personnel dans la zone de travail du transtockeur et dans les zones d'interfaçage automatique.

***Sécurités pour les biens**

Une attention particulière doit être portée pour éviter les vols, les dégats par incendie et par les eaux, car l'E.A. est l'endroit où sont concentrées les "richesses" de l'atelier.

***Sécurités aux postes d'entrées/sorties**

Des vérifications sont à faire à chaque entrée d'une charge dans l'entrepot tels:

- dépassement du volume utile (comparaison avec l'enveloppe spatiale maximale admissible);
- dépassement de la charge autorisée.

Si la réalisation de ces postes sont à la charge du fournisseur, il faut aussi inclure les capteurs qui servent à la coordination des mouvements avec le système de transport extérieur.

2.2.2 Partie opérative dynamique

2.2.2.1 Définition

Le rédacteur du cahier des charges d'un E.A. ne doit pas essayer de concevoir le transtockeur dont il a besoin, mais il doit être capable de fournir les paramètres qui seront nécessaires au fournisseur pour répondre à ses exigences. Pour ce faire, il est essentiel de comprendre ce qu'est un transtockeur.

Un transtockeur est un appareil de transport et de levage pour desservir manuellement ou mécaniquement des rayonnages d'une installation de stockage. Une caractéristique essentielle du transtockeur est la présence d'un ou de plusieurs guides de charges (appelés mâts) pour encaisser les moments de torsion de la charge excentrées. [9]

Un transtockeur peut exécuter trois mouvements principaux appelés (voir figure 2):

- translation: mouvement de translation parallèlement à l'axe des allées sur le chemin de roulement (généralement des rails);
- levage: mouvement vertical du chariot élévateur;
- entrée et sortie: mouvement latéral des moyens de préhension des charges.

Le dimensionnement d'un transtockeur comporte deux phases essentielles:

Dans un premier temps, est déterminée **l'ossature** (mât, chariot de translation, chariot plateforme, ...) en utilisant les règles de la statique, de la dynamique, et de la résistance des matériaux, et en tenant compte de trois causes principales de défaillance:

- le dépassement de la limite d'allongement;
- le dépassement de la sollicitation critique pour les cas de stabilité: flambage, voilement et basculement;
- le dépassement de la limite d'endurance à la fatigue.

Dans un deuxième temps, les **mécanismes** de translation, de levage, de préhension des charges et surtout les actionneurs et les organes de puissance qui vont générer les mouvements sont déterminés.

L'objet de cette section est de donner les paramètres nécessaires à cette conception et d'indiquer des méthodes permettant de les quantifier.

2.2.2.2 Ossature [10]

***Charge utile**

La charge utile se compose essentiellement du poids de la charge maximale à stocker déterminée en 2.2.1.1 et du poids du support de stockage décrit en 2.2.1.1. L'emballage ou la protection de la charge s'ils existent, doivent également etre spécifiés dans la charge utile.

***Hauteur maximale de la charge**

La hauteur maximale du **centre de gravité** de la charge se déduit facilement des caractéristiques déterminées dans les sections 2.2.1.1 et 2.2.1.2, elle est nécessaire à la définition des efforts dynamiques critiques appliqués au transtockeur.

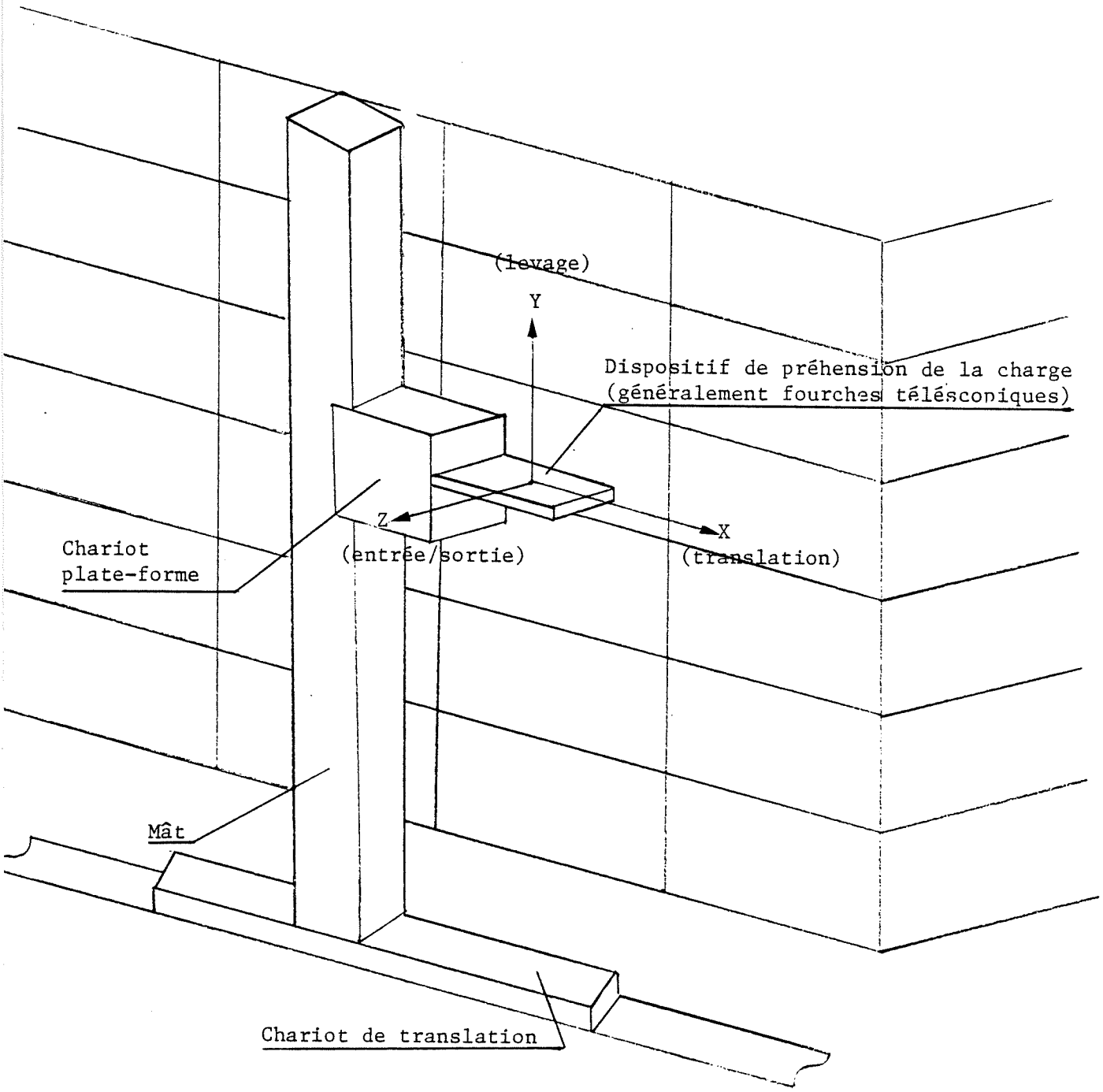


Figure 2 Description d'un transtockeur monomât

*Effets de température

Pour les approvisionneurs de casiers travaillant dans des halls ouverts ou à température non régulée (ce qui est généralement le cas des entreprises de mécanique) les coefficients de dilatation thermique ne sont pris en compte qu'à partir d'une variation de température de ±35°C autour de la température d'installation supposée à +10°C. Ces valeurs devront être comparées aux conditions locales. Dans tous les cas, il est bon que le cahier des charges de l'installation inclut les bornes minimales et maximales des températures d'exploitation de l'entrepôt automatique.

*Caractéristiques cinématiques

Pour une installation à transtockeur unique desservant une allée unique (sans dispositif de transfert), le cahier des charges devra préciser:

- le déroulement des cycles de stockage/déstockage, isolés ou combinés (généralement combinés en contexte d'A.A.F.) [11];
- les coordonnées des casiers d'entrée et de sortie du magasin (cf. 2.2.1.2.);
- le rendement de manutention attendu du transtockeur (exprimé en nombre d'entrées et/ou de sorties par unité de temps).

La connaissance de ces données permettra au concepteur de l'installation de déduire les caractéristiques cinématiques de translation, de levage et d'entrée/sortie servant de base pour les calculs dynamiques (vitesses, accélérations, décélérations, durées d'accélération et de décélération, distance de freinage...). Il convient également de préciser s'il peut y avoir un opérateur embarqué (même occasionnellement) sur le transtockeur, ce qui limite pour des raisons de sécurité les bornes maximales des accélérations/décélérations.

2.2.2.3 Mécanismes [12]

*Conditions de service

Comme pour tout processus automatisé soumis à des contraintes importantes, la rigueur des conditions de service auxquelles est assujetties un transtockeur est déterminante pour le dimensionnement de ses mécanismes (principalement de translation et de levage). Le cahier des charges d'un E.A. devra donc comporter la description de **l'état de sollicitation** et de la **classe de fonctionnement** du transtockeur.

***Classe de fonctionnement**

La classe de fonctionnement caractérise le temps moyen de fonctionnement quotidien du transtockeur exprimée en heures/jour, (le transtockeur n'est considéré comme étant en fonctionnement que lorsqu'il est en mouvement). Pour les E.A. qui ne seront pas utilisés régulièrement pendant l'année, le temps moyen de fonctionnement quotidien est donné par le quotient du temps annuel de fonctionnement par le nombre de jours ouvrables d'une année.

***État de sollicitation**

L'état de sollicitation des mécanismes indique en fait leur spectre de charge, c'est-à-dire la répartition temporelle des masses à transporter. Le cahier des charges précise alors, **par exemple** que l'état de sollicitation est:

- 10% du temps de fonctionnement avec charge utile maximale;
- 40% du temps de fonctionnement avec 1/3 de charge utile;
- 50% du temps de fonctionnement à vide (cas général).

Il convient également de préciser s'il peut y avoir un opérateur embarqué.

***Durée de vie**

Des normes précisent la longévité à pleine charge des mécanismes de commande des transtockeurs en fonction de leurs conditions de service. Si la durée de vie espérée diffère de celle préconisée par les normes, elle doit être mentionnée dans le cahier des charges.

***Caractéristiques cinématiques**

Les caractéristiques cinématiques de translation et de levage sont bien évidemment primordiales pour le calcul des mécanismes. Elles sont déterminées par le concepteur à partir des données du cahier des charges citées plus haut.

2.2.2.4 Sécurités [13]

*Rôle du rédacteur du cahier des charges

C'est encore une fois au fournisseur du transtockeur de s'assurer que son matériel est sécuritaire et conforme aux normes de sécurité en vigueur dans le pays d'utilisation. Cependant le rédacteur du cahier des charges de l'installation de magasinage automatique doit connaitre ces normes, et préciser certaines conditions d'utilisation du transtockeur. Il peut également demander des sécurités particulières ou complémentaires.

*Sécurité du personnel

a) Poste de commande

En contexte d'A.A.F., le transtockeur d'un E.A. est à commande entièrement automatique, il n'est donc pas nécessaire de prévoir un poste de commande du **conducteur**. Toutefois, il faut aménager un dispositif de commande manuelle pour l'entretien et le dépannage. Ce dispositif peut être situé dans un endroit sûr, hors entrepot, ou sur le transtockeur lui-même, ce qui entraine des conditions de sécurité plus sévères.

Si le dispositif de commande manuelle est embarqué, les impératifs de sécurité les moins contraignants sont obtenus pour un poste de commande fixe (ne s'élevant pas avec la charge) et situé à moins de 1,50 m au-dessus du niveau du sol.

b) Niveau sonore

Le niveau sonore est trop souvent négligé dans les cahiers des charges des équipements automatiques. Le bruit n'est cependant pas seulement source d'inconfort, mais également de pollution importante et d'insécurité dans les installations de production automatisée. Il est impératif que le transtockeur, comme tout autre équipement, soit conforme aux règles en vigueur dans le pays concerné.

*Sécurité des biens

La sécurité intrinsèque d'un transtockeur est maintenant correctement maitrisée, et réglementée. Les risques d'incidents qu'il convient de prévenir sont principalement dus aux transferts de charge, et on peut citer quelques précautions essentielles pour conférer à un transtockeur automatique une plus grande sécurité d'emploi.

a) **Contrôle du gabarit et de la masse des produits à stocker**

Le contrôle de gabarit devra porter sur les trois dimensions (haute et latérales) de chaque plateau entrant dans l'entrepôt. Le contrôle peut être effectué sur le transtockeur, mais la sécurité maximale est obtenue si ce contrôle est couplé au contrôle de la masse à stocker **avant** que le plateau ne pénètre dans le magasin, de façon à éviter tout risque de heurt avec les casiers ou le transtockeur.

b) **Positionnement de la charge**

Certains transtockeurs vérifient que la charge à transporter est présente sur le dispositif de préhension avant d'autoriser tout mouvement. Cette sécurité soit en fait insuffisante, il convient de s'assurer que la charge soit présente **et** qu'elle soit correctement positionnée, de manière à éviter tout risque de basculement pendant le transfert, le levage ou la translation.

c) **Contrôle latéral de dépassement de charge en entrepôt**

Deux solutions donnent actuellement satisfaction: des barrières photo-électriques ou des fils d'acier tendus de haut en bas à l'avant et à l'arrière du transtockeur commandant l'arrêt d'urgence en cas de contact avec une charge dépassant du rayonnage.

d) **Chute d'objets dans l'allée**

Les roues porteuses d'un transtockeur sont de faible diamètre, et de petits objets métalliques (tels que vis, écrous...) tombés sur le(s) rail(s) de roulement peuvent endommager le transtockeur. Un simple dispositif à balais et pares-chocs rétractables permet de résoudre ce problème [14].

e) **Sécurités ultimes avant stockage/déstockage**

Dans tous les cas, avant d'autoriser la prise ou la dépose d'un produit dans un casier, il est impératif de vérifier:

- que la position **réelle** du transtockeur est conforme à la position **de consigne**;
- que le casier concerné est vide (respectivement occupé) avant d'effectuer un stockage (respectivement déstockage).

2.3 ÉTUDE DE LA PARTIE COMMANDE

2.3.1 Commande du processus

2.3.1.1 Définition

La commande d'un processus automatisé consiste à coordonner les actions à effectuer sur la matière d'oeuvre par le processus. C'est la finalité principale d'un automatisme. Les signaux traités par cet "automatisme réflexe" sont très souvent de natures diverses et contribuent à la complexité de l'installation:

- signaux logiques (tout ou rien): capteurs de fin de course, commande d'électro-freins, etc...;
- signaux analogiques: capteurs de position absolus, consignes de vitesse de variateurs, etc...;
- signaux numériques: balances de pesée, éventuels axes numérisés, etc... .

Une difficulté supplémentaire dans un entrepôt automatique est d'avoir un processus partiellement statique (gestion des postes d'entrées/sorties, des portes d'accès à l'entrepôt, des sécurités "au sol") et partiellement dynamique sur de grandes distances (transtockeur). Un intérêt particulier doit donc etre porté par le futur utilisateur à l'étude des solutions technologiques proposées par les fournisseurs pour réaliser la commande de l'entrepôt.

2.3.1.2 Architectures de la partie commande

Plusieurs types d'architectures sont classiquement proposées par les constructeurs de transtockeur, elles offrent des possibilités et des avantages différents.

***Commande centralisée (au "sol" ou embarquée sur le transtockeur)**

Cette architecture se caractérise par (Figure 3):

- une grande quantité de câblages sur de grandes longueurs pour véhiculer des signaux haut niveau;
- des problèmes de fiabilité inhérents à la multiplication des connexions en point-à-point;
- une augmentation des coûts due à l'importance des câblages;
- des difficultés pour la réalisation et la maintenance du logiciel de commande due à la centralisation du traitement;
- peu de possibilités de dialogue entre la commande et le transtockeur.

Remarque: Une "variante" de ce type d'architecture peut etre réalisée en déportant sur le transtockeur des interfaces d'entrées/sorties de la commande au sol. Seuls des signaux bas niveaux transitent alors entre la commande et le transtockeur. (Il subsiste les problèmes d'isolation contre les parasites industriels.)

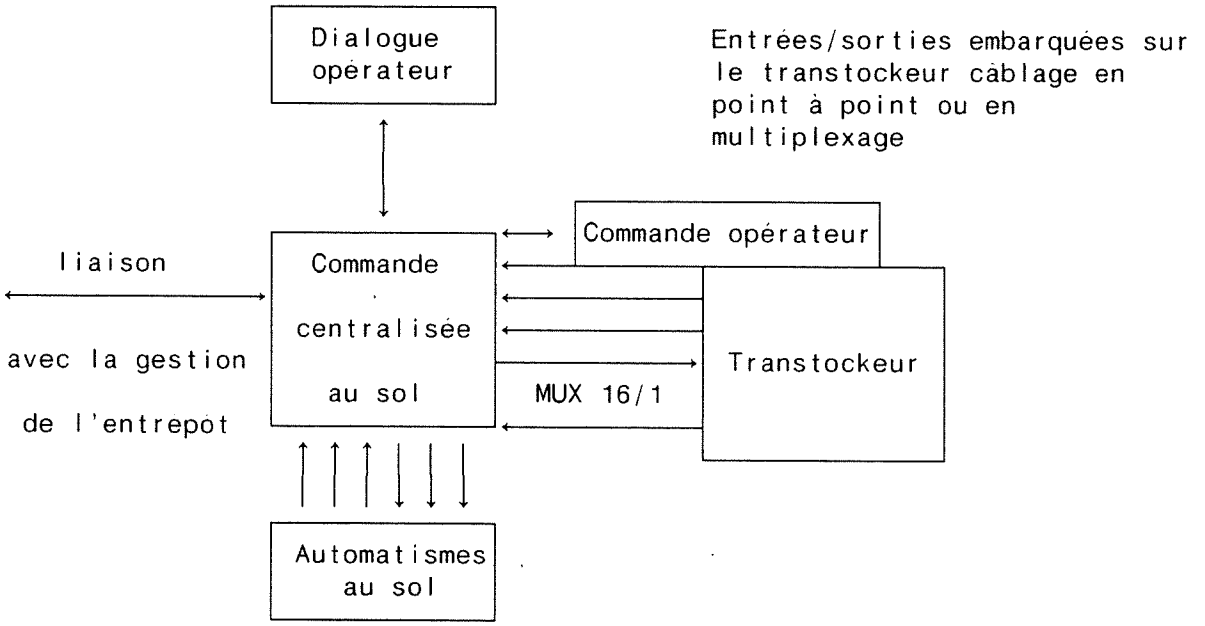


Figure 3 Partie commande centralisée "au sol"

***Commande répartie**

Une commande embarquée gère les automatismes du transtockeur, une commande au sol gère les automatismes statiques. Les deux commandes dialoguent (généralement par liaison série asynchrone ou réseau "bas de gamme"), et sont reliées à la gestion de l'entrepôt (figure 4).

Cette architecture se caractérise par:
- des coûts de câblages moindres, mais un coût d'unité de commande supplémentaire;
- une maintenance aisée du matériel;
- une fiabilité accrue;
- une maintenance et une conception aisées des logiciels dues à la répartition du traitement;
- des possibilités étendues de dialogue entre les deux unités de commande;
- d'éventuels problèmes de dialogue entre les commandes si un grand soin n'a pas été porté à la conception des protocoles d'échanges d'informations.

Cette architecture sera préférée pour sa souplesse, sa fiabilité, et les importantes possibilités de dialogues au niveau de la commande du processus.

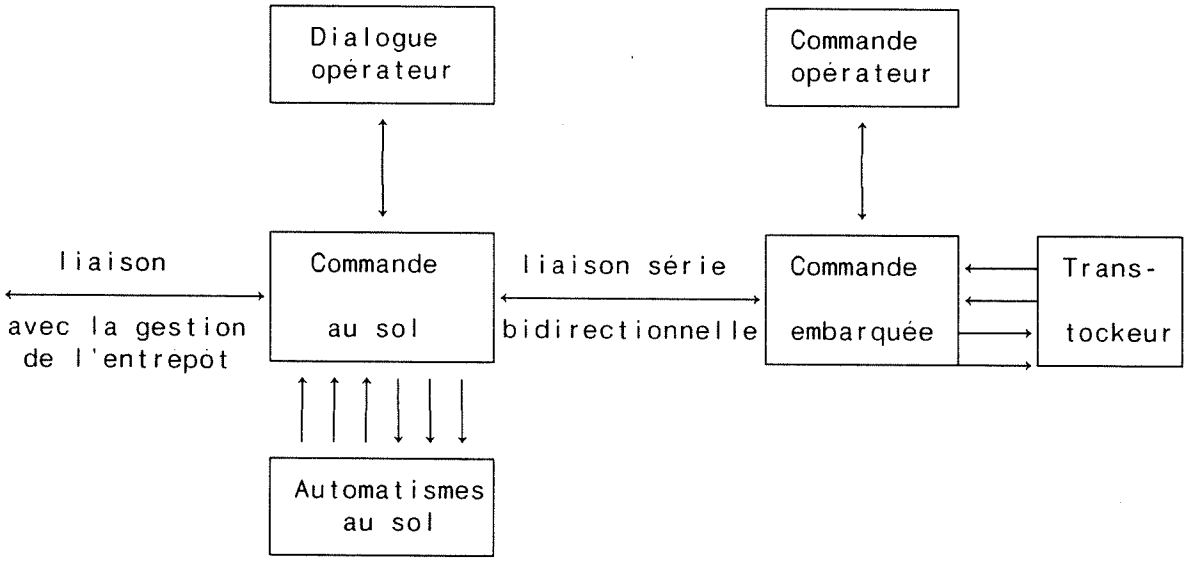


Figure 4 Parties commandes réparties

2.3.2 Conduite des automatismes

2.2.3.1 Définition

La conduite des automatismes consiste à prendre des décisions sur la coordonnation des tâches de commande en fonction des ordres élaborés par le pilotage manuel (opérateur) ou automatique (gestion centralisée de l'installation). La tâche essentielle de la fonction de conduite est de gérer les modes de marches et d'arrêts de l'automatisme.

2.3.2.2 Modes de fonctionnement

Tout système automatisé requiert pour la mise au point, l'exploitation et la maintenance des modes de fonctionnement différents. Lors de la spécification des besoins il ne faut pas confondre **abondance** et **performance**, et les modes de fonctionnement devront être limités à un minimum confortable qui peut être:

*Mode manuel

Les déplacements du transtockeur sont commandés manuellement à partir d'un poste d'opérateur de préférence embarqué. La logique de commande est **câblée**. Ce mode permet de piloter les actionneurs suite à une éventuelle défaillance des parties commandes programmées.

*Mode de conduite manuelle

À l'aide d'un terminal l'opérateur peut faire effectuer des missions (stockage, déstockage) au transtockeur en désignant lui-même les casiers concernés.

*Mode de pilotage automatique

Les missions du transtockeur sont commandées par un éventuel système de gestion du magasin qui peut lui-même etre connecté à la gestion de l'atelier.

Les mêmes remarques peuvent être faites concernant les modes d'arrêts et de mise hors-fonctionnement du transtockeur. Il convient surtout de s'assurer que la reprise du fonctionnement après un arrêt normal ou intempestif soit sûre et aisée, et que les données relatives à la position du transtockeur et à l'état de charge des casiers aient conservé leur intégrité.

2.4 GESTION DE L'ENTREPÔT

2.4.1 Méthodes de localisation des produits

Dans un E.A. d'une entreprise de sous-traitance en usinage les entrées /sorties des produits (au sens large) se font par plateau. C'est tout un casier qui est rempli ou vidé et non un sous-ensemble de son contenu.

Il existe essentiellement trois méthodes de localisation des produits: l'entreposage aléatoire, l'entreposage dédié, l'entreposage mi-aléatoire mi-dédié.

*Entreposage aléatoire

L'hypothèse de base est qu'aucun produit n'a besoin de traitements spécifiques (conditions d'entreposage particulières). Examinons deux variantes:

a) Lors de son entrée dans l'entrepôt, le produit est mis dans une place libre qui aura été choisie aléatoirement, pour une sortie le choix est aussi aléatoire parmi les différentes possibilités.

b) À l'entrée, la palette est mise dans la place libre la plus proche et à la sortie, c'est la première palette du genre qui a été placée, qui est choisie (assimilable à FIFO) pour assurer une bonne rotation des stocks.

***Entreposage dédié**

C'est-à-dire une place spécifique est attribuée. Il est rencontré deux variantes:

a) Une place est assignée d'après la séquence numérique des produits.

b) Entreposage selon un ordre physique en accord avec les équipements et les contenants.

***Entreposage mi-aléatoire mi-dédié**

Cette méthode divise les produits d'après leur taux de rotation selon la classification ABC [1] [15]. Si le taux de rotation est élevé le produit est classifié A et est situé dans une partie de l'entrepôt qui est dédiée; s'il est faible il est classé C et est entreposé dans une section aléatoirement.

Dans un contexte d'atelier de sous-traitance, il est peu probable d'avoir en même temps beaucoup de palettes identiques ainsi la méthode aléatoire est restreinte au choix d'une place à l'entrée, la sortie étant pour un produit spécifique (souvent unique).

2.4.2 Codification

2.4.2.1 Méthodes

En atelier automatisé flexible, des bruts, des pièces en cours de fabrication, des pièces finies, des outils, des montages d'usinage et de mesure, des plateaux sont à entreposer et à gérer. Leur gestion est facilitée à l'aide de codes. La codification des éléments fait partie du système d'information et elle existe dans le but d'éviter toute confusion. Un code est utilisé au lieu d'une description en clair qui peut être plus ou moins longue. Il est entendu qu'à un code est associé une seule configuration. Des configurations différentes portent des codes différents. La difficulté réside dans l'inventaire de tous les éléments ou produits qui nécessitent une description à l'aide d'un code. Il est

recommandé qu'une entreprise possède son propre système de codification de ne pas prendre les codes de ses fournisseurs ou de ses clients pour éviter toute méprise dans le cas où deux fournisseurs ou clients utiliseraient le même code pour des produits différents.

Divers systèmes vont être passés en revue. Ils sont de trois types: significatif, semi-significatif ou sans signification.

***Codification numérique [15]**

a) Simple série de chiffre (ex: 12345)
- Système sans signification (aucune base logique);
- Chaque position a 10 possibilités;
- Facile à administrer;
- Facile à retenir;
- Compatible avec des équipements simples de traitement de données;
- Les additions nouvelles sont faites à la fin du fichier.

b) Système semi-significatif (ex: Zip Code américain, code postal français)
- La valeur et la position des chiffres ont une signification;
- Chaque position a 10 possibilités
- Facile à administrer;
- Facile à retenir;
- Compatible avec des équipements simples de traitement de données;
- Les pièces peuvent être classifiées avec une connaissance simple.

c) Système significatif
- Chaque chiffre ou groupe de chiffres identifie une classe, une sous-classe, un groupe, une série ou un secteur;
- Procure la possibilité de reconnaître les caractéristiques;
- Requiert une connaissance spécialisée pour l'attribution des codes;
- Augmente les risques d'erreurs;
- Ne convient pas nécessairement à toutes les pièces possibles.

***Codification alphabétique [16]** **(ex: A B C D)**

- Simple série de lettres;
- Chaque position a 26 possibilités;
- Le tri est plus complexe que des chiffres;
- Peut ressembler à des mots et porter à confusion;
- Les voyelles ne sont pas souvent utilisées pour éviter la formation de mots.

***Code alphanumérique [15] [16]** (ex: AB-123-CD)

- Plus de possibilités que uniquement des chiffres;
- Le tri est plus complexe que uniquement des chiffres;
- Confusion possible entre certains chiffres et lettres (il est alors recommandé de bannir certaines lettres pour éviter des erreurs:
  - la lettre O avec le chiffre 0
  - la lettre i ou/et l avec le chiffre 1
  - la lettre Z avec le chiffre 2
  - la lettre B avec le chiffre 8
  - la lettre S avec le chiffre 5).
- Inversion facile de positions (il est alors recommandé de standardiser la position des lettres et des chiffres ex.:code postal canadien.

Il est aussi suggéré d'avoir recours au chiffre de contrôle calculé à l'aide de la méthode des nombres premiers (1). A chaque entrée d'un code, le système recalcule le chiffre de contrôle et permet de vérifier si le code est plausible. Les erreurs de transcription, de transposition et de type aléatoire peuvent être détectées.

De toutes les méthodes de codification exposées ici, des chercheurs en conception de systèmes d'information sont à dire que c'est la codification numérique sans signification qui sera de plus en plus implantée [17]. Les installations automatisées sont équipées d'ordinateurs puissants et rapides qui permettent d'obtenir sur demande des fichiers de nomenclature, une description détaillée de chaque code. Le besoin de reconnaître un produit par son code n'existe plus.

Si les codes sont manipulés par des ouvriers, il est suggéré que la longueur de ceux-ci ne dépassent pas 7 ou 8 chiffres. Des études psychologiques ont montré que nous sommes habitués à mémoriser des nombres de cette longueur mais que s'ils sont plus longs, il y a un plus grand risque d'erreurs [16].

---

(1) Méthode de calcul du chiffre de contrôle à l'aide des nombres premiers [16].

	Code	1	2	3	4	5
Multiplier par	X	17	13	7	5	3
		17	26	21	20	15

Faire l'addition des résultats de la multiplication:
17 + 26 + 21 + 20 + 15 = 99
Soustraire le résultat 99 du multiple supérieur de 11:
99 - 99 = 0
Le nouveau code est: 1 2 3 4 5 - 0

2.4.2.2 Technologies [18]

Diverses technologies de codage sont employées en manutention et transport, on peut citer:

***Codage par cames mécaniques**

Couplées à des détecteurs de proximité ou électromécaniques, très souvent usité pour la manutention de palettes d'usinage. Ce code limité à un nombre restreint de bit (environ 8 maxi) manque trop de souplesse pour être performant en atelier automatisé flexible.

***Codage optique à bâtonnets**

Très performant et fiable, les circuits de stockage et de distribution l'employent largement. Deux inconvénients majeurs en font cependant une technologie peu intéressante en atelier d'usinage:

- le manque de compatibilité du support papier autocollant ou plastique avec le milieu industriel (lubrifiant, copeaux, etc.);
- la non-évolutivité du code qui reste figé jusqu'à son renouvellement complet par remplacement de l'étiquette.

Plusieurs réalisations performantes en contexte d'A.A.F. d'usinage existent cependant, mais il s'agit plutôt de stockage et codage d'outils hors machine-outil.

***Codage sur piste magnétique**

Peu usité en raison:

- de la grande précision dimensionnelle nécessaire au positionnement relatif tête de lecture/piste;
- de la non compatibilité du support magnétique avec le milieu industriel;
- du coût inhérent assez important.

***Codage par étiquettes électroniques**

Cette technologie récente basée sur le principe des puits magnétiques répond parfaitement aux besoins en communications des installations de production automatisée. Le support de codage est une étiquette de petite dimension (9 cm^2 à 50 cm^2), à grande capacité de stockage (256 octets à 2K octets). Le tout se présente sous forme d'un boîtier étanche surmoulé résistant à des conditions industrielles très sévères. Le codage est **évolutif**, c'est-à-dire qu'à chaque instant il peut être modifié ou complété par un boîtier de lecture/écriture à distance.

De nombreuses applications industrielles, dont certaines en stockage, ont déjà validé les performances de ce système de codage [14].

Seul handicap: le coût encore élevé de cette technologie (de l'ordre de 100$ par étiquette et 1 000 à 15 000$ par boitier de lecture/écriture).

En résumé, pour choisir une technologie de codage des produits en magasin automatique il est nécessaire d'avoir une réflexion profonde sur les besoins en **flexibilité** du système de production en entier. S'ils sont importants, et le contraire serait étonnant, seul un codage par étiquettes électroniques apporte la souplesse et la fiabilité nécessaire.

2.4.3 Interfaçages avec le système de gestion

Seules quelques grandes entreprises peuvent se permettre d'installer "clef en main" une installation complète d'usinage flexible. La démarche des petites et moyennes entreprises et généralement plus progressive, et consiste à **intégrer successivement** des équipements automatisés de production et de service pour arriver **progressivement** au concept de productique.

L'implantation d'un magasin automatique ne doit pas faillir à cette règle, et l'intégration dans le système de production global doit être envisagée dès la rédaction du cahier des charges.

Pour cela il convient de s'assurer que la gestion de l'entrepôt, tant dans sa partie logicielle que matérielle, soit un système **ouvert** permettant l'interfaçage futur avec la gestion globale de l'atelier.

2.5 SPÉCIFICATIONS CONTRACTUELLES

À l'intérieur de cette section, toutes les spécifications contractuelles sont décrites. Elles ont trait aux:

- conditions de réception (vérifications et essais et références aux normes qui sont retenues pour conformité);
- documents à fournir (plans détaillés, manuels de programmation, d'instruction de service et d'entretien, liasses complètes des schémas électriques, électroniques, mécaniques, hydrauliques, pneumatiques, etc.);
- formation du personnel de maintenance sur les dispositifs mécaniques, électromécaniques, sur la logique électronique et informatique;

- formation des opérateurs à la connaissance et à la conduite de l'installation;
- garanties qui couvrent les pièces, la main-d'oeuvre et les frais de déplacement;
- service après-vente;
- dates de livraison et échéancier d'installation;
- pénalités sur le délai contractuel, sur les garanties;
- cas de résiliation aux torts du titulaire;
- etc..

Ces items ont intérêt à être clairs car ce seront ces textes qui feront foi en cas de litige.

2.6 CONCLUSION

Il faut savoir que l'introduction dans une entreprise d'un nouvel équipement automatisé complexe ne se fait que rarement avec un taux de défaillance faible, et que la première période d'exploitation est davantage une période de maintenance. (1) La décision finale d'implantation d'un E.A. doit donc se traduire simultanément par la commande de l'équipement, et la création d'un plan social d'accompagnement comportant deux phases:

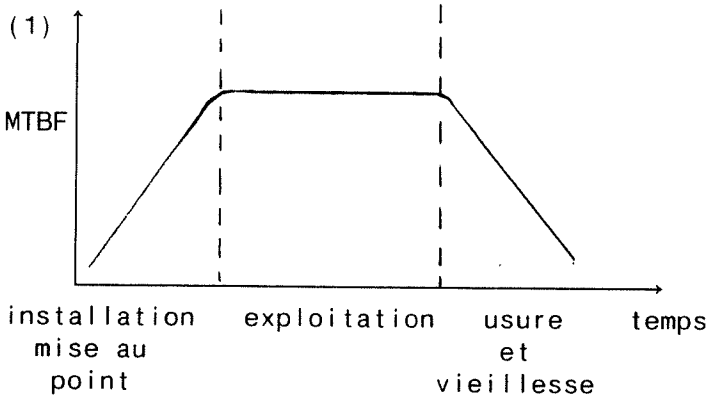
a) Une sensibilisation à l'ensemble du personnel lui permettant de comprendre pourquoi l'E.A. vient remplacer les divers magasins manuels de l'atelier.

b) Une formation complète aux personnels d'exploitation et surtout de maintenance de l'installation.

Dans beaucoup de P.M.E., le personnel spécialisé dont le profil correspond à celui qui est nécessaire n'existe pas, il faudra alors savoir investir également dans les hommes et pas seulement dans les équipements.

---

(1)



Courbe image du taux de défaillance d'un équipement pendant les trois phases principales de sa durée de vie.

CONCLUSION

La rédaction d'un cahier des charges pour l'achat d'un entrepôt automatique en entreprise de sous-traitance est à la fois très importante et très difficile.

Très importante, et encore plus que pour beaucoup d'achats industriels, car ce produit est associé à un niveau élevé de risques tant économiques (prestation sur mesure dont le prix est issu d'une tarification à la demande et sujet à négociations) que techniques (matériel nouveau qui va fortement influencer le comportement futur de l'entreprise).

Très difficile car l'implantation d'un E.A. doit être considérée comme **l'intégration** d'un composant automatisé de plus dans l'atelier et non comme l'installation d'un automatisme isolé. Seule une **approche productique** globale permet d'atteindre ces objectifs qui sont parfois inhabituels. Par exemple, en contexte d'A.A.F. le dimensionnement de l'entrepôt et particulièrement du transtockeur est optimisé selon le critère de **disponibilité maximum à productivité suffisante pour saturer le plancher productif** et non selon le critère de rendement maximum [14]. Dans tous les cas, le système de stockage ne doit pas être le goulot d'étranglement de l'atelier.

La plupart du temps, les petites et moyennes entreprises ont intérêt à faire appel à des consultants extérieurs, spécialistes en entreposage **et** en productique pour les aider dans ce parcours semé d'embûches.

BIBLIOGRAPHIE

[1] TOMPKINS, James A.; WHITE, John A., "Facilities Planning", John Wiley and Sons, New York 1984, 675 pages.

[2] APPLE, James M., "Plant Layout and Material Handling" Ronald Press Co, New York, 1977, 447 pages.

[3] ROSENBLATT, M.J., ROLL, Y., "Warehouse design with storage policy considerations, International Journal of Production Research, 1984, Vol. 22, No. 5, P. 809 - 821.

[4] MUTHER, R., "Systematic Layout Planning", Second Edition, CBI Publishing Company, 1973.

[5] BAFNA, K.M., "Procedures Given for Determining AS/RS System Size and Preparing Specs", Industrial Engineering Journal, August 1983, P. 76-81.

[6] FROMENT, Bernard, LESAGE, Jean-Jacques, "Productique: Les techniques de l'usinage flexible", Dunod, Paris, 1984, 144 pages.

[7] WHITE, J.A., KINNEY, H.D., "Storage and Warehousing" Handbook of Industrial Engineering Edited by Gavriel Salvendy, John Wiley, 1982.

[8] FROMENT, B., RIOPEL, D., "Transport en atelier flexible paramétrage du cahier des charges de chariots automoteurs", École Polytechnique de Montréal, Rapport technique EPM/RT-85-30, septembre 1985, 26 pages.

[9] Fédération Européenne de la Manutention, "Terminologie", Document référencié FEM 9.101, 7 pages

[10] Fédération Européenne de la Manutention, "Base de calcul des transtockeurs: Structures", document référencié FEM 9.311, 5 pages

[11] Fédération Europérenne de la Manutention, "Vérification du rendement des approvisionneurs mécaniques de casiers: durée des cycles", document référencié 9.851, 7 pages.

[12] Fédération Européenne de la Manutention, "Base de calcul des approvisionneurs mécaniques de casiers (transtockeurs): Mécanismes", document réréfencié FEM 9.512, 5 pages.

[13] Fédération Européenne de la Manutention, "Règles de sécurité pour transtockeurs", document référencié FEM 9.753, 6 pages.

[14] BOURDET, P., LESAGE, J.J., RIOPEL, D., VILLENEUVE, L., "Entreposage en atelier automatisé flexibles: solution d'un laboratoire de recherche", École Polytechnique de Montréal, Rapport technique, à paraitre.

[15] POHS, H.A., "Parts Identification Systems", Machine Design, July 21, 1966, p. 142-147.

[16] BURCH, J.G., STRATER, F.R., GRUDNITSKI, G., "Information systems: theory and practice", Third Edition, John Wiley & Sons, 1983.

[17] ISOLE, Joe, "Engineering Data Bases", IBM Third Computer Integrated Manufacturing Executive Conference and Technical Seminar, November 12-13 1985, Toronto.

[18] SOLTIS, D.J., "Automatic Identification Systems: Strengths, Weaknesses and Future Trends, Industrial Engineering, November 1985, Vol. 17, No. 11, p. 55-59.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
3 9334 00289530 6